

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA GOIANO - CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E  
INOVAÇÃO - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
IRRIGAÇÃO NO CERRADO**

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E DESENVOLVIMENTO  
RADICULAR EM GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Autor: Clarindo Alves Costa Neto  
Orientador: Prof. Dr. Marcio Mesquita

CERES – GO  
2020

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E DESENVOLVIMENTO RADICULAR EM  
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR

Autor: Clarindo Alves Costa Neto  
Orientador: Prof. Dr. Marcio Mesquita

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO, ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres, Área de concentração Irrigação.

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

NC591c      Neto, Clarindo  
                 Características Agronômicas e Desenvolvimento  
                 Radicular em Variedades de Cana-de-açúcar / Clarindo  
                 Neto; orientador Marcio Mesquita. -- Ceres, 2020.  
                 53 p.

                 Dissertação (Mestrado em Mestrado Profissional em  
                 Irrigação no Cerrado) -- Instituto Federal Goiano,  
                 Campus Ceres, 2020.

                 1. Saccharum officinarum. 2. Colheita de soca. 3.  
                 Déficit hídrico. 4. Densidade do comprimento da raiz.  
                 I. Mesquita, Marcio, orient. II. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 n°2376

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E DESENVOLVIMENTO RADICULAR EM  
GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR

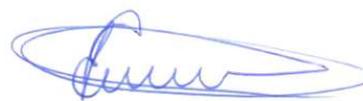
Autor: Clarindo Alves Costa Neto  
Orientador: Prof. Dr. Marcio Mesquita

TITULAÇÃO: Mestre em Irrigação no Cerrado – Área de Concentração: Irrigação

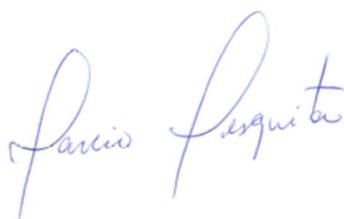
APROVADO em: 18 de fevereiro de 2020.



Prof. Dr. Adão Wagner Pêgo Evangelista  
*Avaliador externo*  
Universidade Federal de Goiás - UFG



Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira  
*Avaliador interno*  
IF Goiano/Campus Ceres



Prof. Dr. Marcio Mesquita  
(Orientador)  
Universidade Federal de Goiás - UFG

A Deus, por me abençoar com mais essa graça alcançada,  
À minha mãe Eliane, pela dedicação à minha formação, por sua fé, seu carinho e  
amor,  
Ao meu pai Ronaldo, pelo apoio, incentivo e confiança,  
Ao meu irmão Pedro, pelo apoio e suporte.

## **OFEREÇO**

À namorada Efigênia, pela compreensão, carinho, amizade e amor.

## **DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecer a Deus por mais essa benção. Aos professores envolvidos do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres e da Universidade Federal de Goiás – Campus Samambaia, pelas orientações, críticas e sugestões. Aos amigos Pedro Henrique e Kenia, pelo apoio nos momentos de dificuldade. Agradecer a todos que de alguma forma me auxiliaram ou tiveram participação, pois saibam vocês que já fazem parte da minha história.

**A TODOS, MUITO OBRIGADO!**

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Clarindo Alves Costa Neto, filho de Ronaldo Ferreira Costa e Eliane Maria Valle Costa, nascido em Goiânia - GO, 05 de abril de 1992, solteiro.

Engenheiro Agrônomo pelo Centro Universitário de Goiás Uni anhanguera, concluído em 2014. No ano de 2018, iniciou o mestrado em Irrigação no Cerrado no Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Goiano – Campus Ceres – Área de concentração: Tecnologias de Irrigação.

## RESUMO

COSTA NETO. CLARINDO ALVES. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, fevereiro de 2020. **Características agronômicas e desenvolvimento radicular em genótipos de cana-de-açúcar.** Orientador: Prof. Dr. Marcio Mesquita.

O sistema radicular de uma planta e as características biométricas da parte aérea podem estar inter-relacionados. O estágio de desenvolvimento da raiz contribui fortemente para o crescimento total acima da superfície e para a qualidade produtiva da planta. O objetivo deste estudo foi associar a umidade do solo, características biométricas da parte aérea e padrões de distribuição radicular no rendimento de genótipos de cana-de-açúcar no quarto corte com as relações entre essas características. Foram utilizados cinco genótipos de cana-de-açúcar para compor os tratamentos deste estudo, CTC9002, RB044311, RB044313, RB044336 e RB867515, estabelecidos em novembro de 2012, e cinco profundidades do solo (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade). As avaliações foram feitas em dezembro de 2019. Foram avaliados a umidade do sistema radicular nas cinco profundidades, características biométricas da parte aérea e o rendimento produtivo dos cinco genótipos. Nas raízes, os genótipos RB044311, RB044313, RB044336 e RB867515 apresentaram maior rendimento. Em média, os genótipos apresentaram 50% da massa seca e comprimento total das raízes na profundidade de 0-20 cm, 73% entre 0-40 cm e 86% entre 0-60 cm. O genótipo RB044336 apresentou maior altura e número de gemas. O genótipo RB867515 apresentou o maior diâmetro médio do colmo e o genótipo CTC9002, o maior número de perfilhos. Os genótipos CTC9002 e RB867515 apresentaram o maior teor de sólidos solúveis, sacarose aparente no suco e açúcares totais redutores. Esses genótipos apresentaram uma maior densidade de raízes: 26% e 57% maior nas camadas de solo nas profundidades de 60-80 cm, respectivamente, e 79% e 86% na camada de 80-100 cm, com relação à camada de maior concentração de raízes de 0-20 cm. Essas camadas permaneceram com os maiores níveis de umidade do solo durante o período de estabelecimento e crescimento intensivo do cultivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Saccharum officinarum*. Colheita de soca. Déficit hídrico. Densidade do comprimento da raiz.

## ABSTRACT

COSTA NETO, CLARINDO ALVES. Instituto Federal Goiano (Goiano Federal Institute), Ceres Campus, Goiás State (GO), Brazil, February 2020. **Agronomic characteristics and root development in sugarcane genotypes**. Advisor: Prof. Dr. Mesquita, Marcio.

The root system of a plant and the biometric characteristics of the aerial part can be interrelated. The stage of root development contributes actively to the total growth above the surface and the productive quality of the plant. This study's objective was to associate soil moisture, aerial part biometric characteristics, and root distribution patterns in the yield of sugarcane genotypes in the fourth cut and the relationship between these characteristics. Five sugarcane genotypes were used to compose the treatments in this study: CTC9002, RB044311, RB044313, RB044336, and RB867515, established in November 2012 and five soil depths (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm deep). The evaluations were carried out in December 2019. The humidity of the root system at the five depths, biometric characteristics of the aerial part, and the production yield of the five genotypes were evaluated. In the roots, the genotypes RB044311, RB044313, RB044336, and RB867515 showed a higher yield. On average, the genotypes showed 50% of the dry mass and a total length of the roots at a depth of 0-20 cm, 73% between 0-40 cm and 86% between 0-60 cm. The RB044336 genotype showed a higher height and number of buds. The genotype RB867515 had the largest average stem diameter and CTC9002, the most significant number of tillers. The genotypes CTC9002 and RB867515 had the highest content of soluble solids, apparent sucrose in the juice, and total reducing sugars. These genotypes showed a 26% and 57% higher root density in soil layers at depths of 60-80 cm, 79%, and 86% in the 80-100 cm layer, about the layer with the highest concentration of roots 0-20 cm. These layers remained with the highest levels of soil moisture during the period of establishment and intensive cultivation.

**KEYWORDS:** *Saccharum officinarum*. Root length density. Ratoon harvest. Water deficit.

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1</b> - Temperaturas máxima, média, mínima, precipitação e umidade relativa média do ar durante o período experimental.....	31
<b>Figura 2</b> - Balanço hídrico do solo e umidade volumétrica do solo ( $\theta_w$ ) nas cinco profundidades estudadas, durante o período experimental.....	32
<b>Figura 3</b> - Comprimento total das raízes dos cinco genótipos de cana-de-açúcar nas cinco profundidades estudadas.....	34
<b>Figura 4</b> - Diâmetro médio das raízes dos cinco genótipos de cana-de-açúcar nas cinco profundidades estudadas.....	35
<b>Figura 5</b> - Comprimento das raízes com diâmetros maiores de 1,5 mm dos cinco genótipos de cana-de-açúcar nas cinco profundidades estudadas.....	36
<b>Figura 6</b> - Densidade do comprimento das raízes dos cinco genótipos de cana-de-açúcar nas cinco profundidades estudadas.....	37
<b>Figura 7</b> - Massa seca das raízes dos cinco genótipos de cana-de-açúcar nas cinco profundidades estudadas.....	38

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1</b> Propriedades físicas do solo da área experimental de cana-de-açúcar, umidade na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) e umidade no ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ) em diferentes camadas de profundidade do solo.....	29
<b>Tabela 2</b> Análise química do solo da área experimental de cana-de-açúcar - em diferentes camadas de profundidade do solo.....	29
<b>Tabela 3</b> Resumo da ANOVA para as variáveis métricas das raízes em - função dos genótipos de cana-de-açúcar e da profundidade estudada do solo.....	33
<b>Tabela 4</b> Resumo da ANOVA para as avaliações biométricas da parte aérea - para os cinco genótipos de cana-de-açúcar avaliados.....	40
<b>Tabela 5</b> Altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de gemas (NG), número de perfilhos (NP) e número de folhas (NF) para os cinco genótipos de cana-de-açúcar avaliados.....	40
<b>Tabela 6</b> Resumo da ANOVA para as avaliações qualitativas para os cinco - genótipos de cana-de-açúcar avaliados.....	41
<b>Tabela 7</b> Teor de fibras (TF), teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}$ Brix), sacarose aparente no suco (Pol), açúcares totais redutores (ATR) e produtividade (Y) para os cinco genótipos de cana-de-açúcar avaliadas.....	41

## SUMÁRIO

	Página
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO..... 10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA..... 12</b>
<b>2.1</b>	<b>Vale do São Patrício ..... 12</b>
<b>2.2</b>	<b>Características agrônômicas da cana-de-açúcar..... 12</b>
<b>2.3</b>	<b>Sistema radicular da cana-de-açúcar..... 13</b>
<b>2.4</b>	<b>Sistema radicular da cana-de-açúcar e absorção de água e nutrientes .... 14</b>
<b>2.5</b>	<b>Uso de estação meteorológica e de sensores de umidade ..... 16</b>
<b>2.6</b>	<b>Métodos de avaliação do sistema radicular ..... 17</b>
<b>2.7</b>	<b>Cultivares de cana-de-açúcar ..... 19</b>
<b>3</b>	<b>REFERÊNCIAS ..... 19</b>
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO I - AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR, UMIDADE DO SOLO E RENDIMENTO DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR NO QUARTO CORTE ..... 24</b>
<b>4.1</b>	<b>Introdução ..... 26</b>
<b>4.2</b>	<b>Material e Métodos..... 27</b>
<b>4.3</b>	<b>Resultados..... 31</b>
<b>4.4</b>	<b>Discussão..... 40</b>
<b>4.5</b>	<b>Conclusão..... 43</b>
<b>4.6</b>	<b>Referências ..... 43</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL ..... 45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo o setor sucroenergético um dos três mais importantes para o agronegócio brasileiro. A cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para a produção do açúcar e do etanol e, recentemente, também tem sido utilizada para produção de energia elétrica. O país é responsável por mais da metade do açúcar comercializado no mundo, e as estimativas indicam uma taxa média anual de crescimento de 3,5% no período 2015/2016 a 2025/2026 (Brasil-Mapa, 2016).

Entretanto, o relatório da OECD-FAO (2015) afirma que alguns fatores podem dificultar essas projeções, com destaque para condições climáticas adversas que podem reduzir as produtividades médias. Um desses fatores é o acentuado déficit hídrico que ocorre em novos ambientes incorporados ao cultivo de cana-de-açúcar desde 2003. E muitas destas regiões de expansão estão em Goiás (Canaplan, 2015).

Goiás é o segundo maior produtor nacional e vem ao longo dos anos se destacando com a cana-de-açúcar, com aumento da área plantada, produção e produtividade. Entre os fatores que favoreceram o incremento dos números em Goiás, está o clima tropical adequado para a produção, necessitando de duas estações distintas: uma estação quente e úmida, que favorece a germinação, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo, e uma estação fria e seca, que favorece a maturação e elevação da sacarose na planta. Goiás é favorecido ainda pelo fotoperíodo adequado à cana-de-açúcar, ou seja, a planta recebe as horas de iluminação necessárias para ter bom desenvolvimento vegetativo. O relevo auxilia na mecanização da cultura, com isso, havendo redução nos custos de produção e no impacto ambiental. Entretanto, a produtividade tem sido frequentemente prejudicada pela irregularidade das chuvas. A média de produtividade dos últimos 10 anos não passa de 75 t há<sup>-1</sup>, acima da média nacional (70 t há<sup>-1</sup>), porém abaixo de importantes regiões paulistas (>90 t há<sup>-1</sup>). Em anos com baixos níveis pluviométricos, algumas regiões goianas não chegam a 60 t há<sup>-1</sup> (Brasil-Conab, 2016), caso da região de Goianésia no Vale do São Patrício.

A cana-de-açúcar é uma cultura que, sob condições adequadas de suprimento de água, tem elevada capacidade de conversão de energia luminosa em energia química (Câmara, 1993). No entanto, essa deficiência pode variar em função das condições edafoclimáticas e do estado nutricional da cultura. Um dos fatores de maior importância na relação planta-água-solo são a arquitetura e a distribuição do sistema

radicular, bem como sua dinâmica de crescimento (Vasconcelos, 2002a). Pelo exposto, o conhecimento do sistema radicular da cana-de-açúcar permite a utilização adequada de técnicas agrônômicas como espaçamento, local de aplicação dos fertilizantes, operações de cultivo, drenagem dos solos e sistema de irrigação, controle de erosão, uso de culturas intercaladas, entre outras (Casagrande, 1991).

O dessecamento da camada superficial do solo provoca uma readaptação do sistema radicular à procura de umidade em camadas mais profundas (Inforzato e Alvarez, 1957).

O desenvolvimento do sistema radicular é típico de cada variedade ou cultivar; havendo crescimento cumulativo do sistema radicular nos ciclos da cultura, da cana-planta para as socas sucessivas, sendo que a morte ou a renovação do sistema radicular não é causada pela colheita da cultura, mas pela deficiência hídrica, independentemente da fase de desenvolvimento (Aguiar, 1978; Vasconcelos, 2002b).

O sistema radicular (rizomas e raízes) é essencial para a rebrota das soqueiras após a colheita, já que ele cumpre o papel de reserva orgânica de energia e nutricional (Camargo, 1989; Machado, 1987; Malavolta, 1994; Sampaio e Salcedo, 1987; Trivelin *et al.*, 1988b, 2002). A incorporação das raízes mortas ao solo durante o período de crescimento também pode contribuir para o aumento do seu teor de matéria orgânica (Ball-Coelho *et al.*, 1992). Sendo assim, a hipótese de o Vale de São Patrício, Goiás (GO), ser uma região de clima mais seco, com média anual de 1.500 mm, concentrados em apenas seis meses do ano, pressupõe que o sistema radicular dessas variedades seja mais desenvolvido, afetando diretamente a produtividade e o planejamento da usina em expandir ou reduzir o plantio dessas variedades.

Até o momento, ainda faltam informações sobre as interações hídricas no solo e seus efeitos sobre as características radiculares e biométricas da parte aérea e de rendimento de diferentes genótipos de cana-de-açúcar. A hipótese do nosso trabalho é que características produtivas e biométricas da parte aérea estão relacionadas à distribuição do sistema radicular e à disponibilidade hídrica de diferentes camadas do solo. O objetivo deste estudo foi determinar a associação entre a umidade do solo, as características biométricas da parte aérea e os padrões de distribuição radicular no rendimento de genótipos de cana-de-açúcar no quarto corte e as relações entre essas características.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Vale do São Patrício**

A atividade bandeirante e a mineração foram responsáveis pelas primeiras fronteiras abertas no território goiano. Já a pecuária seria responsável por uma segunda fronteira, se tornando a única possibilidade econômica de Goiás, referenciada como a atividade econômica mais importante e viável para o Estado” (Chaul, 2000, citado por Silva, 2002).

A implantação do programa denominado Colônia Agrícola Nacional de Goiás (CANG) a partir de 1942 teve como objetivo a expansão/incorporação ao processo de produção agrícola de áreas não exploradas, tendo o povoamento da região do Vale de São Patrício resultado diretamente da criação da CANG.

Em 19 de fevereiro de 1941, foi criada, à margem esquerda do Rio das Almas, entre o Rio Verde, o Córrego Grande e o Rio São Patrício, a Colônia Agrícola Nacional de Goiás (CANG). Segundo Estevam (1998), o relativo sucesso do incremento populacional em Ceres decorreu da promessa de terra gratuita por parte do governo federal, o que atraiu levas de migrantes sem recursos.

O Vale do São Patrício está localizado na região centro-norte do Estado de Goiás, cuja identidade é conferida aos municípios localizados no vale do Rio São Patrício, afluente do Rio das Almas, que forma a bacia do Araguaia-Tocantins. Constituído por 23 municípios, atualmente o Vale do São Patrício tem situação privilegiada, por ter uma economia bastante diversificada, a começar pelo setor de confecção, atividades agrícolas e do agronegócio sucroalcooleiro.

A produção e a comercialização de forma expressiva da cana-de-açúcar tiveram início no Vale do São Patrício em 1982, com a instalação da primeira usina de produção de álcool e açúcar na região. Atualmente, a região tem sete usinas instaladas e em atividade, produzindo etanol (hidratado, anidro ou industrial), açúcar (convencional ou orgânico), energia elétrica e saneantes ou leveduras, dependendo da planta industrial e do foco do grupo de investidores.

Estão instalados no Vale do São Patrício três grupos de investidores no ramo sucroenergético: o Grupo Farias no município de Itapuranga e Itapaci, o Grupo Jalles Machado e o Grupo Goianésia no município de Goianésia e o Grupo Japungu nos municípios de Carmo do Rio Verde e Rubiataba.

### **2.2 Características agronômicas da cana-de-açúcar**

A compreensão de fenômenos ocorridos na parte aérea e na parte radicular, a variabilidade das condições climáticas e as informações das variedades em estudo se tornam mais completas e precisas para identificar o movimento de água no solo, sendo assim avaliadas as seguintes características agrônômicas da cana-de-açúcar:

a) planta:

- número de perfilhos (Aquino e Medina, 2014),
- número de folhas verdes (Machado *et al.*, 2009),
- diâmetro de colmos (Oliveira *et al.*, 2014),
- área foliar,  $AF = C.L.0,75 \cdot (N+2)$ , (Costa *et al.*, 2011),
- índice de área foliar (IAF), (Costa *et al.*, 2011),
- largura e comprimento da folha +3,
- altura de plantas (Costa *et al.*, 2011), e
- número de gemas;

b) agrometeorologia:

- estação meteorológica automática;

c) solo:

- análise química e física de terra,
- amostragem da raiz - Monólito (Saint-André, 2005),
- umidade de solo - Datalogger Emb50/Sensores de solo – 5 profundidades (0-10 cm, 10-30 cm, 30-50 cm, 50-65 cm, 65-80 cm), e
- scanner das raízes – Win RHIZO 2012b – 5 profundidades (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 80-100 cm).

### **2.3 Sistema Radicular da cana-de-açúcar**

Conforme Mozambani *et al.* (2006), a cana-de-açúcar se desenvolve em forma de touceira, sendo que a parte aérea é formada por colmos, folhas, inflorescências e frutos, e a subterrânea, por raízes e rizomas (caules subterrâneos, espessados, ricos em reservas, providos de nós e entrenós e de crescimento horizontal). As raízes são fasciculadas, sendo que 85% delas se encontram nos primeiros 0,5 m de profundidade e aproximadamente 60% entre os primeiros 0,2 a 0,3 m, havendo pequenas variações nessa porcentagem, dependendo, sobretudo, das cultivares. Os rizomas são constituídos por nós, entrenós e gemas, as quais são responsáveis pela formação de perfilhos na touceira, assim as novas touceiras da soca ou da ressoca se originam dos rizomas após a colheita.

Após o corte da cana-planta, o sistema radicular antigo se mantém ainda em atividade por algum tempo, período em que é substituído pelas raízes dos novos perfilhos da soqueira, sendo esse processo lento e gradual. As raízes da soqueira são mais superficiais do que as da cana-planta pelo fato de os perfilhos das soqueiras brotarem mais perto da superfície do que os da cana-planta. Pelo mesmo fato, quanto maior o número de cortes, mais superficial se torna o sistema radicular das soqueiras (Bacchi, 1983).

O desenvolvimento do sistema radicular é típico de cada variedade ou cultivar, havendo crescimento cumulativo do sistema radicular durante os ciclos da cultura, da cana-planta para as socas sucessivas, sendo que a morte ou a renovação do sistema radicular não é causada pela colheita, mas pela deficiência hídrica, independentemente da fase de desenvolvimento (Aguiar, 1978; Vasconcelos, 2002b).

O sistema radicular tem diversas funções, sendo as principais a sustentação da planta, a absorção e o transporte de água e nutrientes, a manutenção de reservas e a resistência a estresses. A eficiência dessas funções é dependente de diversos mecanismos fisiológicos e tem influência direta sobre alguns atributos da cultura, como tolerância à seca, capacidade de brotação e perfilhamento, porte da planta (ereto ou decumbente), tolerância à mecanização, eficiência na absorção de água e nutrientes, tolerância a problemas fitossanitários, entre outros. A produtividade final, por sua vez, depende destes mecanismos e da interação com o ambiente. A dinâmica de desenvolvimento e de distribuição do sistema radicular no perfil do solo ao longo das estações do ano, em interação com o ambiente, é fator determinante para a produção da cultura (Vasconcelos e Casagrande, 2008).

#### **2.4 Sistema radicular da cana-de-açúcar e absorção de água e nutrientes**

As diferenças entre espécies e variedades de plantas quanto à capacidade de absorver nutrientes são decorrentes da variação na magnitude e morfologia do sistema radicular e/ou na cinética de absorção de nutrientes (Anghinoni *et al.*, 1989).

Além das características morfológicas que afetam a aquisição de água e nutrientes por meio do controle de comprimento radicular e área de superfície, a morfologia da raiz também afeta a aquisição de recursos, influenciando a taxa de crescimento radicular, com raízes mais finas, associadas a uma taxa de crescimento de raiz mais rápida (Eissenstat, 1991; Robinson, 1991). Maior eficiência na aquisição de recursos do solo está associada ao desenvolvimento de raízes de menor diâmetro,

possibilitando maior comprimento por massa fresca de raiz (Henry, 2012; Hernández *et al.*, 2010).

Pelos radiculares produzidos por muitas espécies também podem aumentar substancialmente a superfície da raiz, sendo particularmente sensíveis a reduções de água no solo e à disponibilidade de nutrientes (Bates e Lynch, 2001; Mackay e Barber, 1985). O aumento da área de superfície da raiz via pelos radiculares pode compensar reduções no alongamento do sistema radicular decorrentes de solos extremamente secos (Mackay e Barber, 1985), promovendo o contato da raiz com as partículas do solo, reduzindo o impacto de condições ambientais adversas, favorecendo a aquisição de água no solo (Wasson *et al.*, 2012).

O conhecimento sobre Zr é importante para determinar a disponibilidade de água no solo (Allen *et al.*, 1998) e também para indicar o local mais apropriado para a instalação de sensores de monitoramento de umidade do solo. Dessa forma, é possível aumentar a eficiência do manejo da água nos sistemas de cultivo. Ressalta-se que, além da condição irrigada, este parâmetro tem grande relevância para o conhecimento do balanço hídrico da cultura, mesmo em cultivo sob sequeiro, pois está diretamente associado à capacidade de aproveitamento natural das chuvas, considerando o armazenamento de água no solo. Além disto, tal informação também é básica para uso em modelos para previsão de safras e planejamento.

O sistema radicular é um dos pilares para o entendimento das relações da água no sistema solo-planta-atmosfera. Atkinson (2000) afirma que, das características mensuráveis das raízes, o comprimento da raiz se relaciona com o potencial de absorção de água e nutrientes do solo, assim como a massa radicular se relaciona com o estoque ou alocação total de material subterrâneo e dos nutrientes acumulados e o volume radicular se relaciona com o volume de solo ocupado pelas raízes.

As raízes influenciam o arranjo das partículas do solo, pois a absorção de água pelas raízes causa secamento das partículas de solo adjacente, provocando pressões capilares que comprimem os grânulos. Dessa forma, as raízes atuam diretamente sobre a agregação do solo por meio da pressão exercida, aproximando as partículas primárias e microagregados, e indiretamente pela produção de exsudatos radiculares que provocam intenso desenvolvimento microbiano, por sua vez sintetizando polissacarídeos e ácidos húmicos de elevado poder agregante (Anghinomi e Meurer, 1999).

## 2.5 Uso de estação meteorológica e de sensores de umidade

As observações meteorológicas de superfície são indispensáveis nas diversas áreas das atividades humanas e consistem na coleta rotineira dos elementos meteorológicos que caracterizam o estado da atmosfera. A coleta dos elementos meteorológicos exige normas com relação à localização, tipos de instalação dos equipamentos e padronização dos horários de observação e de procedimentos operacionais como calibração e aferição dos equipamentos, o que permite a comparação dos dados coletados em diferentes locais, cuja diferença deve ser creditada unicamente à variação do macroclima (Pereira *et al.*, 2002).

Atualmente, as informações meteorológicas seguem um programa mundial desenvolvido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) entre países associados para a previsão do tempo e do clima. No Brasil, o órgão responsável que participa desse programa é o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com sede em Brasília, onde se encontra o centro regional para a América do Sul do Sistema Mundial de Telecomunicação (Pereira *et al.*, 2002).

Estações meteorológicas automáticas coletam dados de superfície por meio de sensores eletrônicos e eletromecânicos, sendo alimentadas por energia solar ou baterias, tendo também um sistema automático de aquisição de dados. A leitura e a coleta dos dados podem ser feitas em intervalos de tempo programáveis (5, 10, 30 minutos e horas), por meio de sensores eletromecânicos, em que as variáveis climáticas são transformadas em pulsos, diferença de potencial e corrente elétrica, necessitando de funcionário somente para descarregar os dados. Estes dados são armazenados em circuitos eletrônicos (módulos de memória) no interior das estações, possibilitando seu processamento informatizado. A transferência de dados é feita de forma manual através de um mostrador de cristal líquido ou numérico (*display*) ou de um sistema de comunicação (portas de comunicação do microcomputador) estação meteorológica – computador, como ondas de rádio, telefonia, satélite, cabos e outros (Faria, 1998).

Com relação aos sensores, eles são dispositivos que variam suas propriedades sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer, direta ou indiretamente, um sinal que indica essa grandeza (Bastos, 2002). Pode-se considerar também que um sensor é um tradutor de um valor, geralmente não elétrico, para um valor elétrico, que pode ser canalizado, amplificado e modificado por dispositivos eletrônicos. O sinal de saída pode se apresentar na forma de diferença de potencial e corrente elétrica (Güths

e De Paulo, 1998). Tal conjunto de características é designado pelo formato do sinal de saída. Assim, um sensor apresenta propriedades de entrada, que podem ser de qualquer tipo, e propriedades elétricas de saída (Bolton, 1988).

Verificadas as características dos sensores a serem utilizados, são descritas, a seguir, situações em que é vantajoso o uso desses instrumentos: a) quando se pretende fazer muitas medições em um período de tempo considerável, pois, nesse caso, a aquisição automática de dados dispensará o observador de uma tarefa monótona e cansativa, que poderia conduzir ao aparecimento de erros sistemáticos; b) quando se pretende fazer um determinado número de medições num intervalo de tempo muito curto, também se tornam evidentes as vantagens do uso de sensores, pois dificilmente o observador conseguiria obter e registrar todos os valores naquele intervalo de tempo tão reduzido; c) quando se pretende medir diferentes grandezas na mesma atividade, o uso de vários sensores simultaneamente dispensará a existência de diferentes observadores, e cada um dos quais só poderia se ocupar da medição e do registro dos valores de uma ou, quando muito, duas grandezas; e d) eliminar possíveis erros sistemáticos cometidos pelo observador (Helfrick e Cooper, 1994).

## **2.6 Métodos de avaliação do sistema radicular**

Bengough *et al.* (2000) discutiram sobre as dificuldades relacionadas ao estudo de sistema radicular. Conforme os autores, esse tipo de estudo encara a peculiaridade de somente poder analisar pequena parte do sistema radicular por métodos, muitas vezes, destrutivos. Além disso, a complexa e variável estrutura ramificada das raízes assim como a variabilidade da distribuição no espaço tornam ainda mais difícil a seleção de métodos que forneçam resultados representativos. Vasconcelos *et al.* (2003) concordam essa afirmação, assegurando que, diferentemente do que ocorre na parte aérea, a visualização e o contato com o sistema radicular não são diretamente acessíveis, tornando o estudo mais difícil, dependendo de técnicas e métodos trabalhosos.

Esses gradientes comumente restringem a distribuição do sistema radicular no solo, mas é difícil separar os efeitos genotípicos dos efeitos ambientais na distribuição radicular nas condições de campo (Bengough *et al.*, 2000). Além disso, a variabilidade das propriedades biológicas físicas e químicas do solo pode resultar em informação variável sobre a distribuição do sistema radicular (Van Noordwijk, 1993; Vasconcelos

*et al.*, 2003). Smith *et al.* (2005) afirmam que alteram a forma e a dimensão quando submetida a diferentes condições de solo. Por exemplo, o tamanho e a distribuição do sistema radicular da cana são fortemente afetados pela distribuição e disponibilidade de água no solo (Battie-Laclau e Laclau, 2009).

Mesmo assim, o conhecimento do sistema radicular é um prerequisite fundamental para o uso de técnicas agronômicas no cultivo da cana-de-açúcar, cuja identificação de um método correto de avaliação do sistema radicular traz confiabilidade nos resultados e avanço em conhecimentos nessa área. Sendo assim utilizados fazendo um parâmetro de métodos de amostragem para avaliação da biomassa radicular da cultura da cana-de-açúcar, o uso do Scanner radicular CI-600, Scanner radicular Win RHIZO 2012b o polígono de Voroni.

O Scanner radicular CI-600, disponibilizado pela instituição de ensino UFG – Campus Samambaia, capta imagens digitais de alta resolução e de forma não destrutiva, permitindo assim a análise radicular da cultura da cana-de-açúcar, conseguindo repassar de forma precisa a estimativa da porcentagem radicular, ficando de forma nítida as raízes na coloração verde neon e o solo com a coloração padrão, sendo fundamental para utilizar como um dos métodos de avaliação para este projeto.

Sua coleta está fundamentada na instalação de tubos de acrílico transparente de 6,4 cm de diâmetro interno x 182,9 cm de comprimento (2,5 polegadas x 6 pés), com um metro de comprimento com 34,3 cm de comprimento x 6,4 cm diâmetro e pesar 750 g, com uma capacidade de resolução de 600 dpi, detendo até 188 milhões de pixels e imagens com 21,6 cm largura x 19,6 cm comprimento.

Com relação aos monólitos de solo coletados no polígono de Voronoi, evita-se a coleta de grandes volumes de solo e considera-se que todas as raízes da planta amostrada que crescem fora do polígono são balanceadas pelas raízes da planta vizinha que cresce no interior do polígono traçado (Levillain *et al.*, 2011; Saint-André *et al.*, 2005).

Posteriormente, foram retirados monólitos de solo com dimensões de 0,45 x 0,3 x 0,2 m até atingir um metro de profundidade, totalizando cinco monólitos por parcela, com volume variado, em razão de a umidade de solo e de o tipo de solo serem alterados de acordo com a profundidade. As amostras de raízes coletadas pelo método de monólito foram separadas do solo pela lavagem com jato de água corrente em conjunto com peneiras de 0,71 mm. Posteriormente, as amostras foram secas em

estufa a 75 °C até a obtenção de massa constante, finalmente, pesadas em balança analítica para a determinação da massa de matéria seca de raízes em cada uma das camadas amostradas.

Para complemento das informações, foi utilizado o Scanner Win RHIZO 2012b, disponibilizado pela Instituição EMBRAPA – Arroz e Feijão, que consistiu na coleta de solo com dimensões de 0,45 x 0,3 x 0,2 m até atingir um metro de profundidade, totalizando as cinco profundidades preestabelecidas (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm) por parcela, com volume variado, em razão de a umidade de solo e de o tipo de solo serem alterados de acordo com a profundidade. As raízes foram separadas do solo por lavagem com jato de água corrente em conjunto com peneiras de 0,71 mm, obtendo, entre os principais dados coletados, o volume, o diâmetro e o comprimento de raiz.

## **2.7 Cultivares de cana-de-açúcar**

Das quinze variedades instaladas no experimento, serão utilizadas apenas cinco variedades, sendo elas, RB867515; RB044311, RB044336, RB044313 e CTC9002. Esta definição foi feita em razão dos resultados do experimento e da necessidade da Usina na obtenção de mais informações sobre estes materiais:

- a) RB867515: variedade com características interessantes para o cultivo no Cerrado, resistente às principais doenças durante muitos anos, adoção extremamente acelerada desde seu lançamento em 1997, mas atualmente com sanidade menor, estando os produtores diminuindo sua área cultivada;
- b) RB044311: Clone destaque em avaliação feita pela UFG;
- c) RB044336: Clone destaque em avaliação feita pela UFG;
- d) RB044313: Clone destaque em avaliação feita pela UFG; e
- e) CTC9002: variedade com características interessantes para o cultivo no Cerrado, própria para solos mais restritivos, resistente ao déficit hídrico, POL com 25% maior que variedades populares, adequada ao plantio mecanizado, variedade lançada em 2012.

A distribuição no perfil do solo das raízes de uma variedade determina grande parte da sua adaptação ao ambiente, tanto em relação às condições climáticas, como ao tipo de solo (Vasconcelos, 2002a; Vasconcelos, 2002b).

## **3 REFERÊNCIAS**

Aguiar, S.F., 1978. Observações sobre sistema radicular da cana planta (*Saccharum spp.*). Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrária e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, 24p.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper no. 56. Roma: FAO, 300p.

Anghinoni, I, Meurer, E.J., 1999. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. *In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDOS DE CASO*. Aracajú. Anais... Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.57-87.

Anghinoni, I., Volkart, C.R., Fattore, N., Ernani, P.R., 1989. Morfologia de raízes e cinética de absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.13, n.3, p.355-361.

Aquino, G.S. de, Medina, C.deC., 2014. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana de açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, p.173-180. DOI: 10.1590/S0100204X2014000300003.

Atkinson, D., 2000. Root characteristics: Why and what to measure. *In: Smit, A.L., Bengough, A.G., Engels, C., Van Noordwijk, M., Pellerin, S., Van de Geijn, S.C. (Eds.) Root methods: A handbook*. Berlin, Springer-Verlag, p.1- 32.

Bacchi, O.O.S., 1983. Botânica da cana-de-açúcar. *In: Orlando Filho, J. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. Piracicaba: IAA/Planalsucar, Cap.2, p.24-37.

Ball-Coelho, B., Sampaio, E.V.S.B., Tiessen, H., Stewart, J.W.B., 1992. Root dynamic in plant ratoon crops of sugar cane. *Plant and Soil*, v.142, p.297-305.

Bastos, A., 2002. Instrumentação, Eletrônica Analógica e Digital. Rio de Janeiro RJ, 360p.

Bates, T.R., Lynch, J.P., 2001. Root hairs confer a competitive advantage under low phosphorus availability. *Plant Soil*, v.236, p.243–250.

Battie-Laclau, P., Laclau, J.P., 2009. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. *Field Crops Research*, v. 114, n. 3, p. 351-360.

Bengough, A.G., Castrign, A., Pagés, L., Van Noordwijk, M., 2000. Sampling strategies, scaling and statistics. *In: Smit, A.L., Bengough, A.G., Engels, C., Van Noordwijk, M., Pellerin, S., Van de Geijn, S.C. (Eds.) Root methods: a handbook*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p.147-174.

Bolton, W., 1988. Instrumentação e controle, São Paulo: Hemus, cap.2, p.25-149.

Brasil-Conab (Companhia Nacional de Abastecimento), 2016. Acompanhamento da safra brasileira - cana, Observatório agrícola, v. 3 - Safra 2016/17, n. 3 - terceiro levantamento, Brasília, p. 1-74, dezembro 2016.

Brasil-Mapa (Ministério da agricultura pecuária e abastecimento), 2016. Projeções do agronegócio Brasil 2015/16 a 2025/26. Projeções de Longo Prazo. MAPA/Brasília. 104p.

[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/Proj\\_Agronegocio2016.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/Proj_Agronegocio2016.pdf)

Câmara, G.M.S., 1993. Ecofisiologia da cultura de cana-de-açúcar. *In*: Câmara, G.M.S., Oliveira, E.A.M. (Ed.). Produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ, p.209-225.

Camargo, P.B., 1989. Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes ureia (15N) e aquamônia (15N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar. Piracicaba, 104p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

Canaplan, 2015. Agronegócio Brasileiro: Cana-de-Açúcar Visão de curto prazo - Safras 2015/16 a 2017/18. Consultoria Técnica, Piracicaba, 7p.  
<http://canaplan.com.br/escopo-detalhado.pdf>

Casagrande, A.A., 1991. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 157p.

Chaul, N.F., 2000. Marcha para o Oeste. *In*: Silva, L.S.D.da (org.) Relações Cidade – Campo: Fronteira. Goiânia: Ed. UFG, p.113-125.

Costa, C.T.S., Ferreira, V.M., Endres, L., Ferreira, D.T.daR.G., Gonçalves, E.R., 2011. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana de açúcar no quarto ciclo de cultivo. Revista Caatinga, v.24, p.56-63.

Eissenstat, D.M., 1991. On the relationship between specific root length and the rate of root proliferation: a field study using citrus rootstocks. *New Phytol*, v.118, p.63-68.

Estevam, L., 1998. O tempo da transformação: estrutura e dinâmica da formação econômica de Goiás. Goiânia: Editora do Autor/Faculdade de Economia-UCG.

Faria, M.A., 1998. Simpósio de Manejo de Irrigação. Poços de caldas, MG, 652p.

Güths, S., De Paulo, V., 1998. Instrumentação em Ciências Térmicas. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, 36p.

Helfrick, A.D., Cooper, W.D., 1994. Instrumentação, Eletrônica Moderna e Técnicas de Medição. Rio de Janeiro RJ, 324p.

Henry, A., 2012. IRRI's drought stress research in rice with emphasis on roots: accomplishments over the last 50 years. *Plant Root*, v.7, p.5–19. DOI <https://doi.org/10.3117/plantroot.7.92>

Hernández, E.I., Vilagrosa, A., Pausas, J.G., Bellot, J., 2010. Morphological traits and water use strategies in seedlings of Mediterranean coexisting species. *Plant Ecol*, v.207, p. 233–244.

Inforzato, R., Alvarez, R., 1957. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar var. Co. 290, em solo tipo terra-roxa-legítima. *Bragantia*, v.16, n.1, p.1-13.

Levillain, J., M'Bou, A. T., Deleporte, P., Saint-André, L., Jourdan, C., 2011. Is the simple auger coring method reliable for below-ground standing biomass estimation in Eucalyptus forest plantations? *Annals of botany*. 108: 221-230. doi: 10.1093/aob/mcr102.

Machado, E.C., 1987. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. *In: Paranhos, S B. (coord.) Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, v.1, cap.1, p.56-87.*

Machado, R.S., Ribeiro, R.V., Marchiori, P.E.R., Machado, D.F.S.P., Machado, E.C., Landell, M.G.A., 2009. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.44, n.12, p.1575-1582.

Mackay, A.D., Barber, S.A., 1985. Effect of soil-moisture and phosphate level on root hair-growth of corn roots. *Plant Soil*, v.86, p.321–331.

Malavolta, E., 1994. Fertilizing for high yield sugarcane. Basel: IPI, 104p. (Bulletin, 14). Nutrient and Fertilizer Management in Sugarcane. International Potash Institute Basel/Switzerland.

Mozambani, A.E, Pinto, A.S., Segato, S.V., Mattiuz, C.F.M. 2006. História e morfologia da cana-de-açúcar. *In: Segato, S.V., Pinto, A.S., Jendiroba, E., Nobrega, J.C.M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Atualização em produção de Cana-de-Açúcar. Piracicaba – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2006, p.11-18.*

OECD-FAO, 2015. Agricultural Outlook 2015-2024: Special Feature – Brazil: Prospects and Challenges. Group of Commodity Markets – Working Party on Agricultural Policies and Markets, 26-27 March.

Oliveira, A.R., Braga, M.B., Santos, B.L.S., 2014. Produção de biomassa de cana-de-açúcar no vale do são francisco. *Energ. Agric. Botucatu*, v.29, n.1, p.27-38, jan.

Pereira, A.R., Angelocci, L.R., Sentelhas, P.C., 2002. Agrometeorologia, Fundamentos e aplicações práticas. Piracicaba SP, 478p.

Robinson, D., 1991. Roots and resource fluxes in plants and communities. *In: Atkinson, D. (ed.) Plant root growth: an ecological perspective. Special publication of the British ecological society n° 10. Blackwell Scientific Pub., London, p. 103-130.*

Saint-André, L., M'Bou, A.T., Mabilia, A., Mouvondy, W., Jourdan, C., Roupsard, O., Deleporte, P., Hamel, O, Nouvellon, Y., 2005. Age-related equations for above- and below-ground biomass of a Eucalyptus hybrid in Congo. *Forest Ecology and Management*. 205: 199-214. doi: 10.1016/j.foreco.2004.10.006.

Sampaio, E.V.S.B, Salcedo. I.H., 1987. Eficiência de utilização de ureia 15N por cana-planta e três socas em tabuleiro costeiro de Pernambuco. *In*: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4., CONVENÇÃO DA ACTALAC, 7., Olinda, Anais... Olinda: STAB, 1987. p.46-49.

Smith, D.M., Inman-Bamber, N.G., Thorburn, P.J., 2005. Growth and function of the sugarcane root system. *Field Crops Research*, v. 92, n. 2-3, p. 169-183.

Trivelin, P.C.O., Vitti, A.C., Oliveira, M.W., Gava, G.J.C., Sarriés, G.A., 2002. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.3, p.636-646,

Trivelin, P.C.O., Camargo, P.B., Libardi, P.L., Moraes, S.O., Lara Cabezas, W.A.R., Palhares, A.L., 1988b. Dinâmica do N dos fertilizantes: ureia (15N) e aquamônia (15N) incorporados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba: FEALQ; CENA, 84p. (Relatório Técnico).

Van Noordwijk, M., 1993. Roots: length, biomass, production, and mortality. *In*: Anderson, J.M., Ingram, J.S.I. (Eds.), *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods* (pp. 132–144). CAB International, U.K, p. 132-144.

Vasconcelos, A.C.M., 2002a. O Sistema radicular da cana-de-açúcar e a expressão do potencial de produção. *STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v.21, n.2, p.20.

Vasconcelos, A.C.M., 2002b. Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual. Jaboticabal, 140p. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP.

Vasconcelos, A.C.M., Casagrande, A.A., 2008. Fisiologia do sistema radicular. *In*: Dinardo-Miranda, L. L.; Vasconcelos, A. C. M.; Landell, M. G. A. (Eds). *Cana-de-açúcar*. Campinas, Instituto Agrônomo, p. 79-97.

Vasconcelos, A.C.M, Casagrande, A.A., Perecin, D., Jorge, L.A.C., Landell, M.G.A., 2003. Avaliação do sistema radicular de cana-de-açúcar por diferentes métodos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v27, n.3, p.849-858.

Wasson, A.P., Richards, R.A., Chatrath, R., Misra, S.C., Prasad, S.S., Rebetzke, G.J., Watt, M., 2012. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of experimental botany*, v.63, p.3485-3498.

## 4 CAPÍTULO I

### **AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR, UMIDADE DO SOLO E RENDIMENTO DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR NO QUARTO CORTE**

(Normas de acordo com a revista Field Crops Research)

COSTA NETO. CLARINDO ALVES. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, fevereiro de 2020. **Avaliação da relação entre a distribuição do sistema radicular, umidade do solo e rendimento de genótipos de cana-de-açúcar no quarto corte.** Orientador: Prof. Prof. Dr. Marcio Mesquita.

**Resumo:** O objetivo deste estudo foi associar a umidade do solo, características biométricas da parte aérea e padrões de distribuição radicular no rendimento de genótipos de cana-de-açúcar no quarto corte com as relações entre essas características. Foram utilizados cinco genótipos de cana-de-açúcar para compor os tratamentos deste estudo, CTC9002, RB044311, RB044313, RB044336 e RB867515, estabelecidos em novembro de 2012 e cinco profundidades do solo (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade). As avaliações foram feitas em dezembro de 2019. Foram avaliados a umidade do sistema radicular nas cinco profundidades, características biométricas da parte aérea e o rendimento produtivo dos cinco genótipos. Nas raízes, os genótipos RB044311, RB044313, RB044336 e RB867515 apresentaram um maior rendimento. Em média, os genótipos apresentaram 50% da massa seca e comprimento total das raízes na profundidade de 0-20 cm, 73% entre 0-40 cm e 86% entre 0-60 cm. O genótipo RB044336 apresentou maior altura e número de gemas. O genótipo RB867515 apresentou o maior diâmetro médio do colmo e o genótipo CTC9002, o maior número de perfilhos. Os genótipos CTC9002 e RB867515 apresentaram o maior teor de sólidos solúveis, sacarose aparente no suco e açúcares totais redutores. Esses genótipos apresentaram uma maior densidade de raízes: 26% e 57% maior nas camadas de solo nas profundidades de 60-80 cm, respectivamente, e 79% e 86% na camada de 80-100 cm com relação à camada de maior concentração de raízes de 0-20 cm. Essas camadas permaneceram com os maiores níveis de umidade do solo durante o período de estabelecimento e crescimento intensivo do cultivo.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum*. Colheita de soca. Déficit hídrico. Densidade do comprimento da raiz.

## CHAPTER I

### **Evaluation of the relationship among the distribution of the radicular system, soil moisture, and yield of sugarcane genotypes in the fourth cut**

COSTA NETO. CLARINDO ALVES. Instituto Federal Goiano (Goiano Federal Institute), Ceres Campus Goiás State (GO), Brazil, February 2020. **Evaluation of the relationship between root system distribution, soil moisture, and yield of sugarcane genotypes in the fourth ratoon.** Advisor: Prof. Dr. Mesquita, Marcio.

**Abstract** - This study's objective was to associate soil moisture, aerial part biometric characteristics, and root distribution patterns in the yield of sugarcane genotypes in the fourth cut and the relationship among these characteristics. Five sugarcane genotypes were used to compose the treatments in this study: CTC9002, RB044311, RB044313, RB044336, and RB867515, established in November 2012 and five soil depths (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm deep). The evaluations were carried out in December 2019. The humidity of the root system at the five depths, biometric characteristics of the aerial part, and the production yield of the five genotypes were evaluated. In the roots, the genotypes RB044311, RB044313, RB044336, and RB867515 showed a higher yield. On average, the genotypes showed 50% of the dry mass and a total length of the roots at a depth of 0-20 cm, 73% between 0-40 cm and 86% between 0-60 cm. The RB044336 genotype showed a higher height and number of buds. The genotype RB867515 had the largest average stem diameter and CTC9002, the most significant number of tillers. The genotypes CTC9002 and RB867515 had the highest content of soluble solids, apparent sucrose in the juice, and total reducing sugars. These genotypes showed a 26% and 57% higher root density in soil layers at depths of 60-80 cm, 79%, and 86% in the 80-100 cm layer, about the layer with the highest concentration of roots 0-20 cm. These layers remained with the highest levels of soil moisture during the period of establishment and intensive cultivation.

**Keywords:** *Saccharum officinarum*. Ratoon harvest. Root length density. Water deficit.

#### 4.1 Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, estendendo o cultivo para mais de 10 milhões de hectares, resultando em 30 milhões de toneladas de açúcar e 34 bilhões de litros de etanol (Brasil-Conab, 2019). A região Centro-Sul do país apresenta um calendário específico de colheita, tendo usualmente o período entre abril e dezembro como aquele de maior concentração dessa atividade. Para a safra 2020, a expectativa é que a região produza cerca de 589 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, representando quase 92% de toda produção nacional (Brasil-Conab, 2019).

Nessas regiões, a cana-de-açúcar é cultivada em grande parte sob condições de chuva nas regiões tropicais áridas e semiáridas, onde as estações de chuva e seca são bem definidas. Entre abril e setembro, nessas regiões a evapotranspiração supera a precipitação sendo comum a existência de déficit hídrico (Alvares *et al.*, 2013). O déficit hídrico é um fator importante que pode afetar o crescimento e o rendimento da cana e reduzir o rendimento da cana em até 60% (Robertson *et al.*, 1999). Os genótipos de cana-de-açúcar respondem diferentemente ao estresse hídrico, afetando as características do sistema radicular, da parte aérea e da qualidade das culturas (Bashir *et al.*, 2012). Em soqueiras, a redução dessas características é ainda mais evidente em razão principalmente da baixa capacidade de soqueamento das variedades de cana-de-açúcar e do manejo não adequado da cultura. As culturas de soqueira têm um custo de produção menor do que as culturas plantadas em 25 a 30% (Bashir, 2013). Uma melhor compreensão da associação das características biométricas da parte aérea e da raiz na manutenção de uma maior qualidade dos parâmetros técnicos deve melhorar a eficiência da produção de cana e beneficiar futuros programas de melhoramento.

O sistema radicular tem diversas funções e as principais são a sustentação da planta, absorção e transporte de água e nutrientes, manutenção de reservas e resistência a estresses (Marasca *et al.*, 2015; Smith *et al.*, 2005). Após o corte da cana-planta, o sistema radicular antigo continua em atividade por algum tempo, período em que é substituído pelas raízes dos novos perfilhos da soqueira, sendo esse processo lento e gradual. As raízes da soqueira são mais superficiais do que as da cana-planta pelo fato de os perfilhos das soqueiras brotarem mais perto da superfície do que os da cana-planta (Smith *et al.*, 2005) A seca reduz o crescimento radicular nas camadas superiores do solo, e o crescimento radicular também muda

para as camadas inferiores do solo para manter a captação de água (Battie Laclau e Laclau, 2009).

Em geral, o sistema radicular de uma planta e as características biométricas da parte aérea podem estar inter-relacionados, sendo que o estágio de desenvolvimento da raiz contribui fortemente para o crescimento total acima da superfície da planta (Gregory, 2006). Embora o crescimento radicular esteja associado a um aumento da captação de água e nutrientes (Chopart *et al.*, 2010; Marasca *et al.*, 2015), pouco se sabe sobre o particionamento preciso de carboidratos no sistema radicular da cana-de-açúcar (Smith *et al.*, 2005) e sua influência na parte aérea das plantas e em características qualitativas como o teor de sólidos solúveis, sacarose aparente no suco e açúcares totais redutores.

Até o momento, ainda faltam informações sobre as interações hídricas no solo e seus efeitos sobre as características radiculares, biométricas da parte aérea e de rendimento de diferentes genótipos de cana-de-açúcar. A hipótese do nosso trabalho é que características produtivas, biométricas da parte aérea estão relacionadas à distribuição do sistema radicular e à disponibilidade hídrica de diferentes camadas do solo. O objetivo deste estudo foi determinar a associação entre a umidade do solo, as características biométricas da parte aérea e os padrões de distribuição radicular no rendimento de genótipos de cana-de-açúcar no quarto corte e as relações entre essas características.

## **4.2 Material e Métodos**

O estudo foi conduzido na área experimental da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), localizada na Usina Jalles Machado S. A. (15° 08' S, 48° 53' W, 570 m de altitude), na cidade de Goianésia, Brasil. Segundo Köppen, a região tem clima tropical de savana, com inverno seco e verão chuvoso (Aw) (Alvares *et al.*, 2013). As temperaturas médias variam entre 16 e 29 °C e a precipitação anual é de, aproximadamente, 1.500 mm.

Foram utilizados cinco genótipos de cana-de-açúcar para compor os tratamentos deste estudo, CTC9002, RB044311, RB044313, RB044336 e RB867515, estabelecidos em novembro de 2012. As análises foram iniciadas no período de cana-soca após o terceiro corte, dando fim às avaliações na colheita (quarto corte) em dezembro de 2019.

Para a análise do sistema radicular, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 5 x 5, correspondendo a cinco genótipos de cana-de-açúcar e cinco profundidades do solo (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade). A área das unidades experimentais foi de 27 m<sup>2</sup>, com quatro linhas de cana com 10 m de comprimento e espaçamento de 0,9 m entre linhas. O solo do campo experimental é um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com textura argilo-arenosa (Tabela 1).

**Tabela 1 - Propriedades físicas do solo da área experimental de cana-de-açúcar, umidade na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) e umidade no ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ) em diferentes camadas de profundidade do solo**

Propriedades Físicas	Unidades	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
Argila	%	40,87	42,00	41,80	42,20	41,67
Silte	%	11,37	7,40	14,70	15,30	15,03
Areia	%	47,77	50,60	43,50	42,50	43,30
Densidade do solo	g cm <sup>-3</sup>	1,66	1,77	1,75	1,78	1,74
$\theta_{cc}$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,28	0,27	0,29	0,29	0,29
$\theta_{pmp}$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,16	0,15	0,17	0,17	0,17

**Fonte:** Elaborada pelo autor (2020).

Não houve suplementação mineral no solo. Este estudo trata de uma parceria entre a empresa Jalles Machado S. A. e a universidade, que optou por não fazer a adubação durante o período experimental. As características químicas do solo são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2 - Análise química do solo da área experimental de cana-de-açúcar em diferentes camadas de profundidade do solo**

Elementos Químicos	Unidades	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
Fósforo (P)	mg dm <sup>-3</sup>	17,00	4,00	1,40	0,80	0,40
Potássio (K <sup>+</sup> )	mg dm <sup>-3</sup>	45,00	32,00	17,00	12,00	11,00
Matéria Orgânica	mg dm <sup>-3</sup>	16,60	12,30	9,97	8,30	7,93
Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,18	1,51	0,86	0,76	0,60
Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,40	0,30	0,24	0,23	0,22
Alumínio (Al <sup>3+</sup> )	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,00	0,00	0,32	0,27	0,17
H+Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,02	2,37	2,50	2,25	2,25
CTC T	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,72	4,26	3,65	3,27	3,10
Soma de bases	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,70	1,89	1,15	1,02	0,85
Saturação Al	%	0,00	0,00	22,00	21,00	17,00
Saturação de base	%	57,00	44,00	32,00	31,00	27,00
pH (H <sub>2</sub> O)	-	5,20	5,00	4,60	4,50	4,50

**Fonte:** Elaborada pelo autor (2020).

As condições meteorológicas temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, déficit de pressão de vapor, precipitação e evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foram monitoradas por uma estação meteorológica automática (Metos<sup>®</sup>, Pessl Instruments, Weiz, Áustria), localizada a 25 m da área experimental.

Não houve suplementação hídrica via irrigação durante o experimento. Foram instalados sensores de umidade do solo (ECH<sub>2</sub>O EC-5, Decagon Devices, Inc., Pullman, Estado Unidos) nas cinco profundidades e nos quatro blocos experimentais. Os sensores foram calibrados seguindo os métodos de Antunes Júnior *et al.* (2018) e os dados adquiridos, registrados em data loggers (Em50, Decagon Devices, Inc., Pullman, Estado Unidos).

As análises radiculares foram feitas aos 290 dias após o corte (DAC), através de avaliações dos monólitos do solo, seguindo a metodologia descrita por Silva-Olaya *et al.* (2017). Foram coletados vinte monólitos (nos cinco genótipos plantadas nos quatro blocos), com dimensões de 0,45 x 0,3 x 0,2 m, até atingir a faixa de um metro de profundidade. As amostras de solo, incluindo as raízes, foram embaladas em sacos plásticos individuais e transportadas para o laboratório, onde foram lavadas por peneiras (malha de 0,7 mm).

Para medir as raízes, foi utilizado o software WinRHIZO 2012b (Regent Instruments, Quebec, Canadá), acoplado a um scanner digital de imagem. As raízes foram dispostas em um recipiente de acrílico (20 cm de largura e 30 cm de comprimento) com aproximadamente um centímetro de camada de água e colocadas no scanner. Foram registrados comprimento total, volume radicular e diâmetro radicular médio. Utilizou-se de uma relação do comprimento e do volume para estimar a densidade do comprimento das raízes. As amostras foram divididas em subamostras, e o comprimento final foi definido como a soma de todos os comprimentos das sub-amostras. Em seguida, as amostras das raízes foram colhidas e armazenadas em estufa por 10 dias a 65 °C para secagem. Após a secagem, foi determinado o peso seco da raiz.

As avaliações biométricas e de rendimento foram feitas aos 290 DAC (quarta colheita). As variáveis biométricas medidas foram número de folhas, número de perfilhos, número de gemas, diâmetro do colmo (mm) e altura (m), mensurados com o auxílio de um paquímetro digital e fita métrica.

Uma amostra de caule composta foi enviada para análise para avaliar a qualidade industrial da cana-de-açúcar, tendo sido determinados o teor de fibra, teor

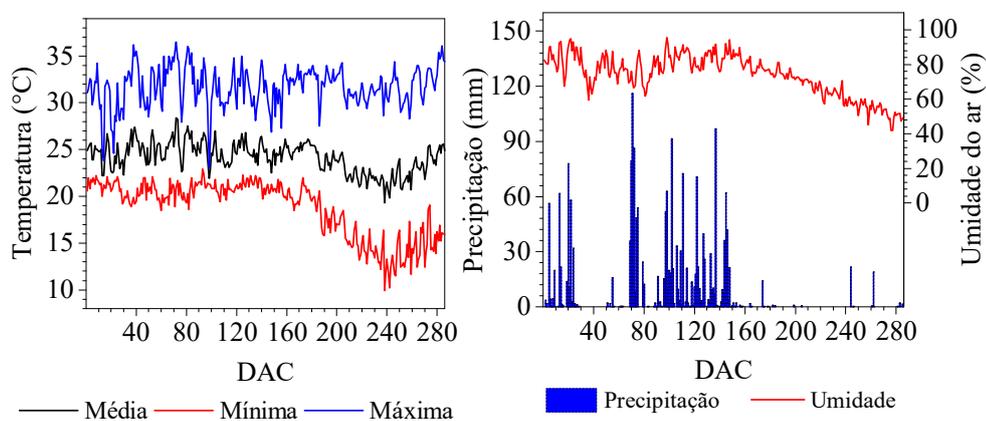
de sólidos solúveis, sacarose aparente no suco e açúcares totais redutores. Os parâmetros utilizados para determinar a qualidade industrial da cana foram medidos conforme descrito pelo Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Etanol (Consecana, 2015).

A análise de variância (ANOVA) foi usada para verificar a diferença das medidas das raízes nas profundidades. Para resultados da ANOVA significativos ( $p < 0,05$ ), as médias de tratamento foram comparadas pelo teste de LSD ( $p < 0,05$ ). A ANOVA e o teste LSD foram feitos no software R (R Core Team, 2016).

### 4.3 Resultados

A Figura 1 apresenta a variação da temperatura do ar, precipitação e umidade relativa durante o período experimental. A temperatura média durante o período experimental foi de 24,2 °C, com máxima de 36.5 °C aos 72 dias após o corte (DAC), e mínima de 9.9 °C aos 238 DAC. A umidade relativa média anual (UR) foi de 73.8%, variando de 41.9 a 95.6%.

**Figura 1 - Temperaturas máxima, média, mínima, precipitação e umidade relativa média do ar durante o período experimental**

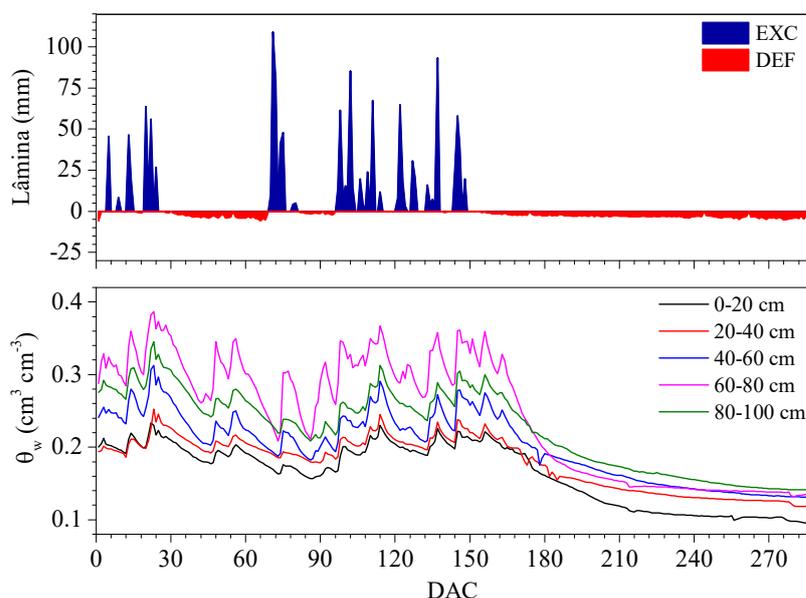


**Fonte:** Gráficos elaborados pelo autor (2020).

**Legenda:** DAC: dias após o corte

A Figura 2 apresenta o balanço hídrico do solo para a cultura da cana-de-açúcar e a variação da umidade volumétrica do solo nas camadas de solos analisadas, em diferentes profundidades.

**Figura 2 - Balanço hídrico do solo e umidade volumétrica do solo ( $\theta_w$ ) nas cinco profundidades estudadas, durante o período experimental**



**Fonte:** Gráficos elaborados pelo autor (2020).

**Legenda:** DAC: dias após o corte

Durante o período experimental, houve uma precipitação total de 1986 mm e a demanda hídrica da cultura foi de 1097 mm. A precipitação total supriria toda a necessidade da cana-de-açúcar não fosse a má distribuição pluviométrica que ocorre na região. Desta forma, houve 44 dias de excedente e 228 dias de déficit hídrico. O maior excedente observado foi de 108,9 mm aos 71 DAC e o menor, de 5,6 mm aos 1 DAC.

A quantidade de água armazenada no solo apresentou distribuição gradual entre as profundidades, sendo maior a umidade nas camadas mais profundas do solo, excluindo a profundidade de 60-80 cm, que, até aos 176 DAC, foi superior na profundidade de 80-100 cm. Até os 181 DAC, as umidades nas diferentes camadas de profundidades do solo analisado foram superiores à umidade no ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ). A camada do solo de 0-20 cm ultrapassou o  $\theta_{pmp}$  aos 181 DAC; nas demais profundidades, a passagem desse limite ocorreu aos 191, 200, 201 e 214 DAC para as camadas de 60-80, 20-40, 40-60 e 80-100 cm, respectivamente.

A Tabela 3 mostra os resultados da análise de variância (ANOVA) dos parâmetros observados nas raízes dos cinco genótipos de cana-de-açúcar em cinco camadas do solo, em diferentes profundidades.

**Tabela 3 - Resumo da ANOVA para as variáveis métricas das raízes em função dos genótipos de cana-de-açúcar e da profundidade do solo estudada**

FV	GL	Quadrados Médios									
		L		L>1,5mm		D		DE		M	
Bloco	3	1252,43	**	15,20	**	0,00	*	0,01	ns	2,71	ns
Genótipo (G)	4	42809,19	**	650,40	**	0,10	**	5,78	**	50,60	**
Profundidade (P)	4	707393,40	**	5881,30	**	0,06	**	2,62	**	1026,20	**
G x P	16	23304,08	**	353,50	**	0,01	**	0,36	**	23,66	**
Resíduo	72	195,02		3,20		0,00		0,00		1,18	
CV (%)	-	7,43		11,62		2,91		2,35		15,01	

**Fonte:** Elaborada pelo autor (2020).

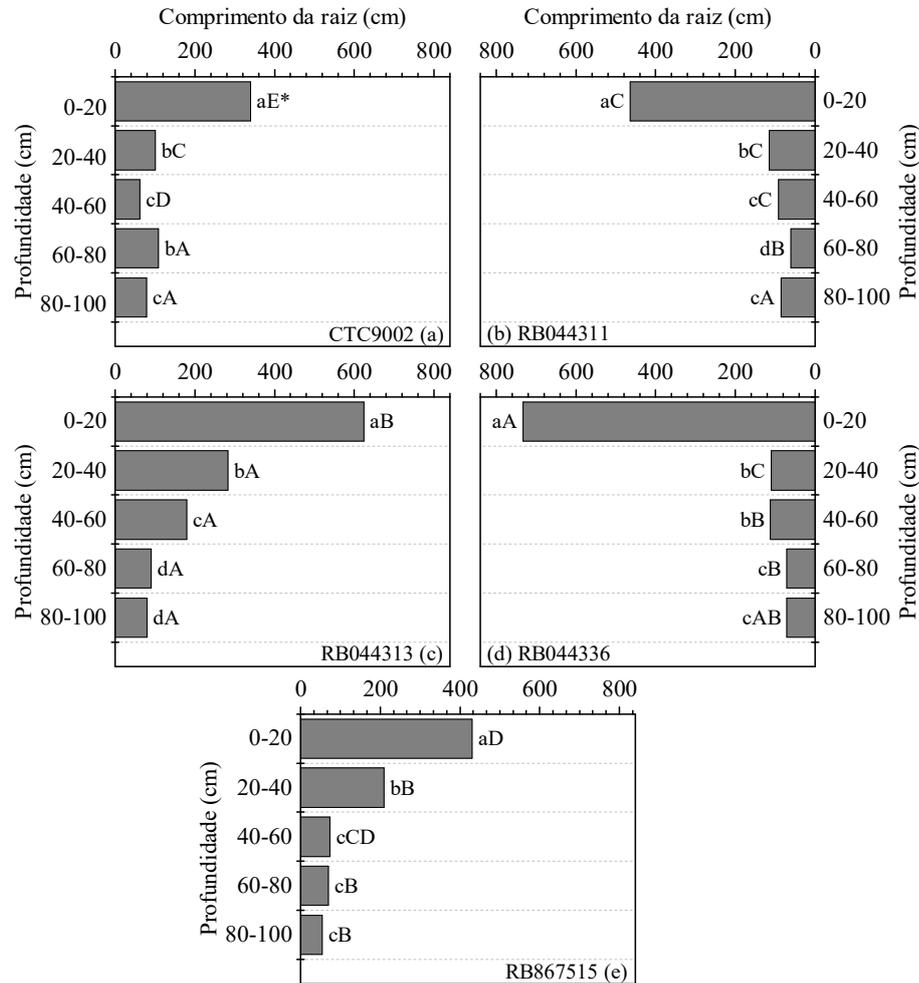
**Legenda:** FV: o fator de variação; GL: grau de liberdade; L: comprimento total das raízes; L>1,5mm: comprimento das raízes com diâmetro maior que 1,5 mm, D: diâmetro médio das raízes; DE: densidade das raízes; M: massa seca das raízes; CV: coeficiente de variação.

\*\*Teste F significativo ao nível de 1% de probabilidade, \* significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo

Houve efeito significativo para os tratamentos genótipos e profundidade e na interação entre eles e as variáveis comprimento total das raízes, comprimento das raízes com diâmetro maior que 1,5 mm, diâmetro médio das raízes, volume médio das raízes e massa seca das raízes.

As Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 mostram as médias do comprimento total das raízes, diâmetro médio das raízes, comprimento das raízes com diâmetro maior que 1,5 mm, volume médio das raízes e massa seca das raízes dos cinco genótipos de cana-de-açúcar nas cinco profundidades estudadas.

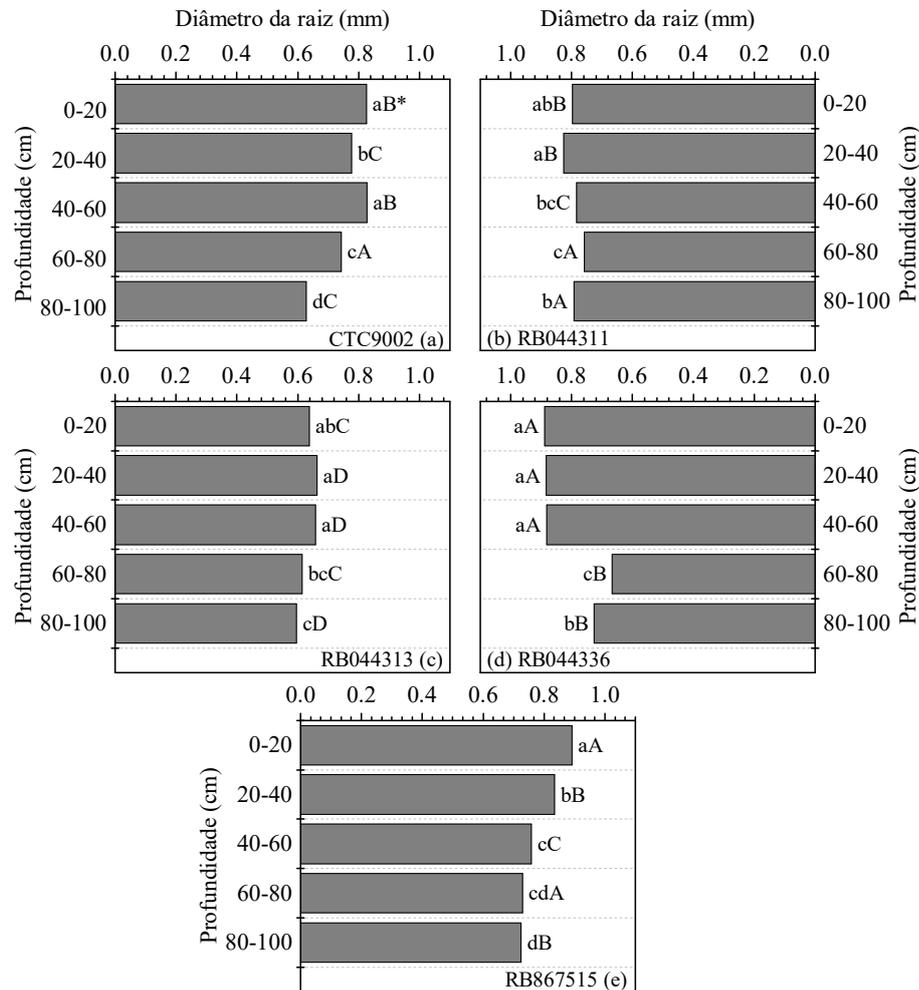
**Figura 3 - Comprimento total das raízes dos cinco genótipos de cana-de-açúcar nas cinco profundidades estudadas**



Fonte: Gráficos elaborados pelo autor (2020).

\*Médias seguidas por letras maiúsculas distintas que apresentam efeito dos genótipos de cana-de-açúcar na profundidade e médias seguidas por letras minúsculas distintas que apresentam efeito das profundidades nos genótipos de cana-de-açúcar diferem entre si pelo teste LSD ( $p < 0,05$ )

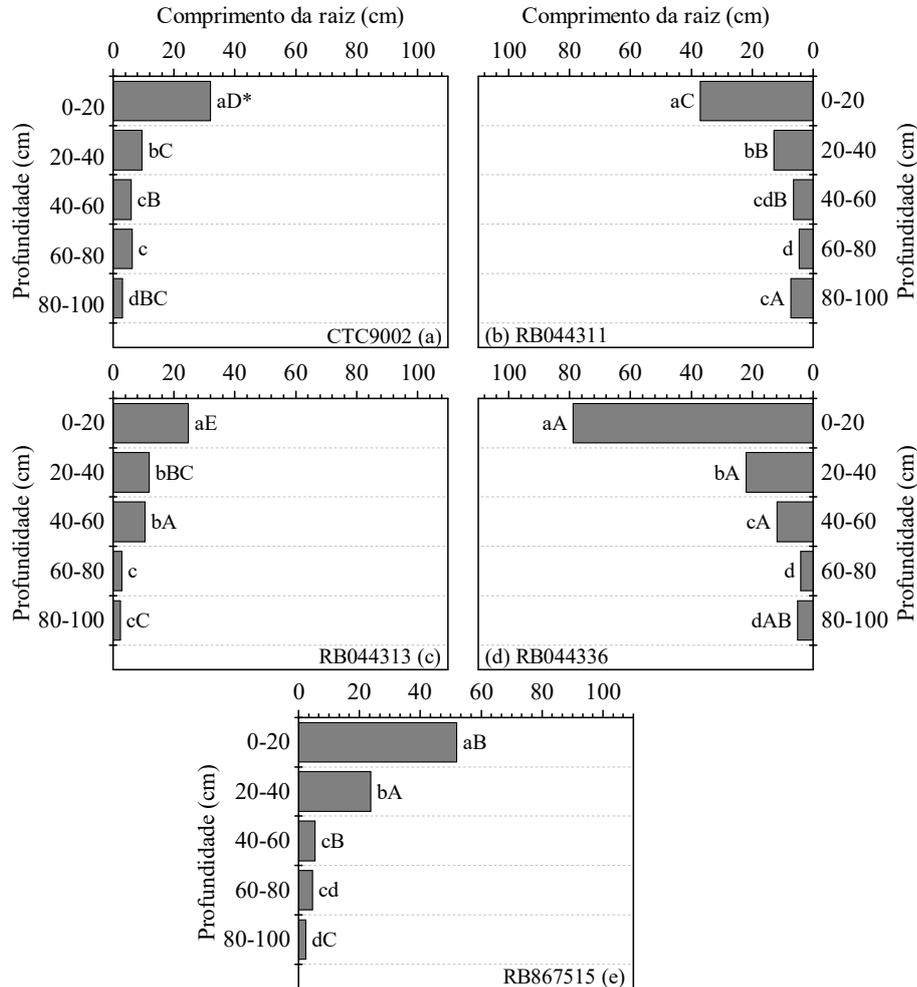
**Figura 4 - Diâmetro médio das raízes dos cinco genótipos de cana-de-açúcar nas cinco profundidades estudadas**



**Fonte:** Gráficos elaborados pelo autor (2020).

\*Médias seguidas por letras maiúsculas distintas que apresentam efeito dos genótipos de cana-de-açúcar na profundidade e médias seguidas por letras minúsculas distintas que apresentam o efeito das profundidades nos genótipos de cana-de-açúcar diferem entre si pelo teste LSD ( $p < 0,05$ )

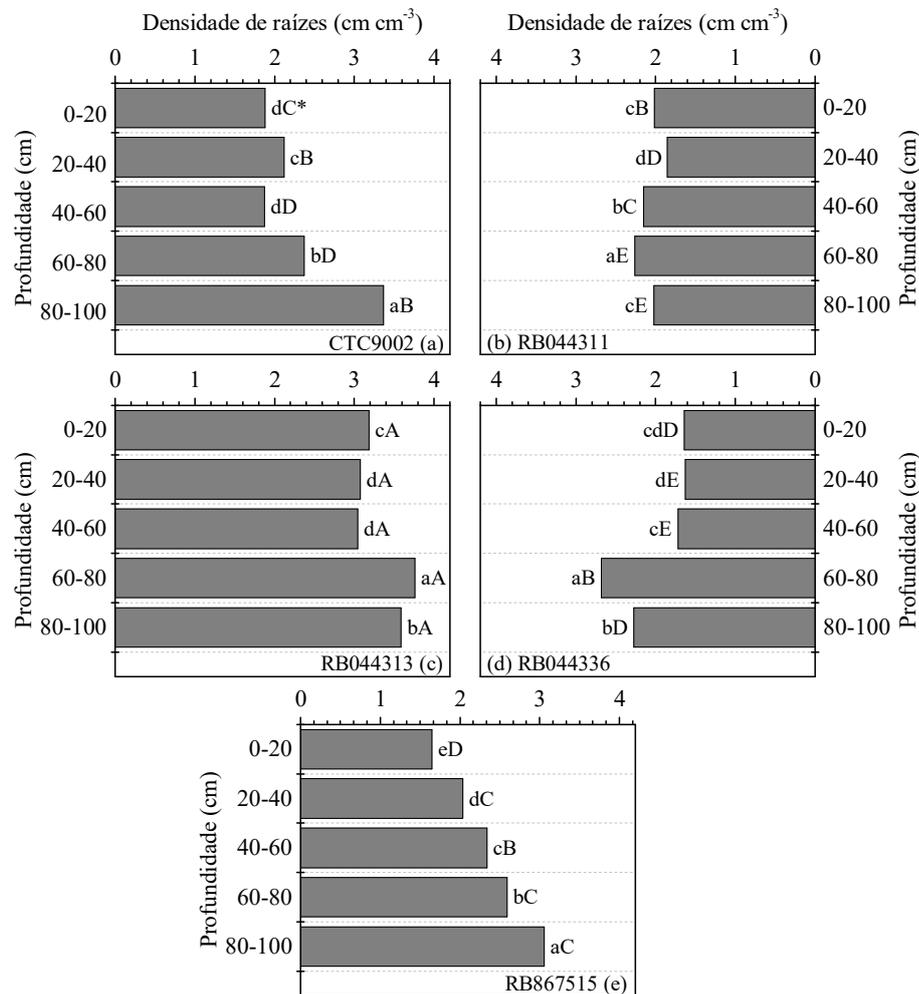
**Figura 5 - Comprimento das raízes com diâmetros maiores de 1,5 mm dos cinco genótipos de cana-de-açúcar nas cinco profundidades estudadas**



Fonte: Gráficos elaborados pelo autor (2020).

\*Médias seguidas por letras maiúsculas distintas que apresentam o efeito dos genótipos de cana-de-açúcar na profundidade e médias seguidas por letras minúsculas distintas que apresentam o efeito das profundidades nos genótipos de cana-de-açúcar diferem entre si pelo teste LSD (p < 0,05)

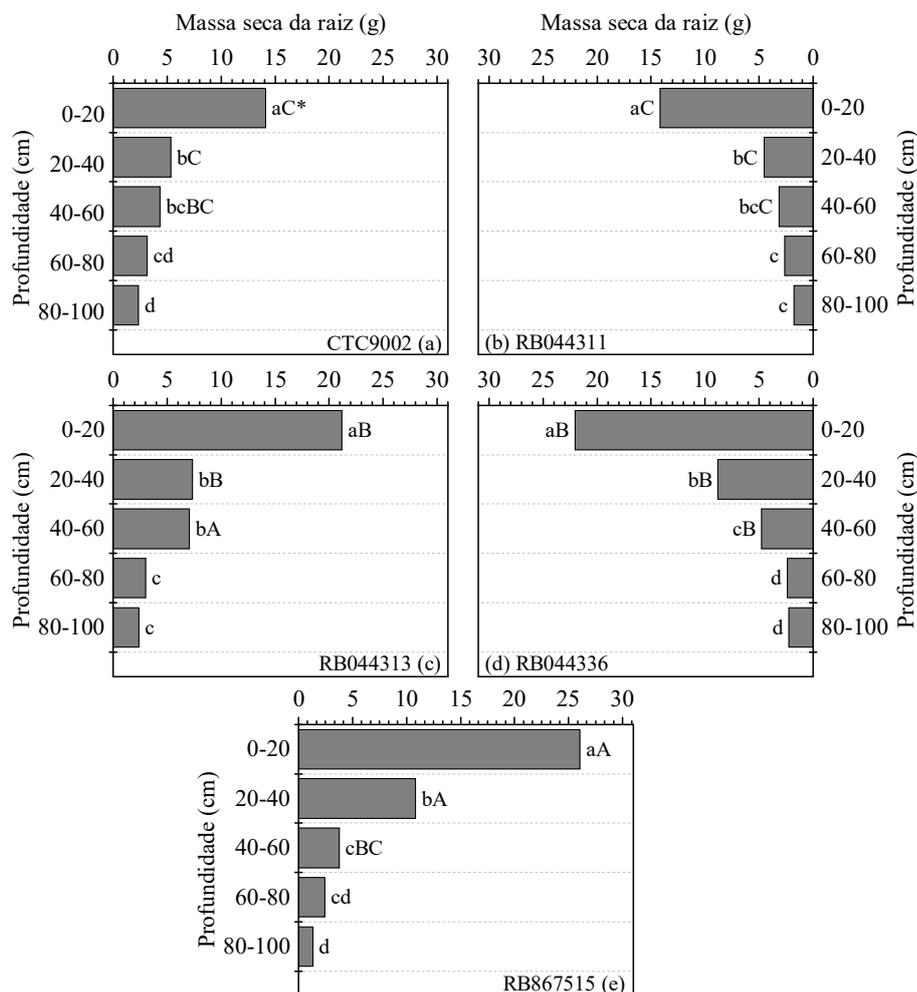
**Figura 6 - Densidade do comprimento das raízes dos cinco genótipos de cana-de-açúcar nas cinco profundidades estudadas**



**Fonte:** Gráficos elaborados pelo autor (2020).

\*Médias seguidas por letras maiúsculas distintas que apresentam o efeito dos genótipos de cana-de-açúcar na profundidade e médias seguidas por letras minúsculas distintas que apresentam o efeito das profundidades nos genótipos de cana-de-açúcar diferem entre si pelo teste LSD ( $p < 0,05$ )

**Figura 7 - Massa seca das raízes dos cinco genótipos de cana-de-açúcar nas cinco profundidades estudadas**



Fonte: Gráficos elaborados pelo autor (2020).

\*Médias seguidas por letras maiúsculas distintas que apresentam o efeito dos genótipos de cana-de-açúcar na profundidade e médias seguidas por letras minúsculas distintas que apresentam o efeito das profundidades nos genótipos de cana-de-açúcar diferem entre si pelo teste LSD ( $p < 0,05$ )

O genótipo RB0444336 apresentou o maior comprimento na camada do solo com 0-20 cm de profundidade (732,5 cm), seguido pelo genótipo RB044313, que apresentou o maior comprimento total de raízes (1257,9 cm), com 624,8 cm de comprimento nesta camada do solo (Fig. 3b e 3d). Observou-se que, em média, cerca de 55% do comprimento total das raízes para os genótipos se estabeleceu na camada de 0-20 cm, com tendência de decréscimo do comprimento com aumento da profundidade (Fig. 3). O genótipo CTC9002 não apresentou diferença significativa entre as camadas de 20-40 e 60-80 cm de profundidade e o genótipo RB044311 apresentou comportamento diferente com as raízes na camada de 80-100 cm significativamente maiores do que as raízes na camada de 60-80 cm (Fig. 3a e 3b).

O genótipo RB044336 apresentou maior diâmetro médio das raízes nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, juntamente com o genótipo RB867515, que apresentou diâmetros superiores em relação aos demais genótipos na camada de solo de 0-20 cm de profundidade (Fig. 4a e 4e). Os genótipos CTC9002, RB044311 e RB867515 apresentaram os maiores diâmetros na profundidade 60-80 cm (Fig. 4a, 4b e 4e). Na camada de 80-100 cm, os maiores diâmetros médios foram observados no genótipo RB044311 (Fig. 4b). Não houve uma distribuição padrão ou tendência dos diâmetros médios das raízes nas diferentes profundidades entre os genótipos (Fig. 4).

Assim como no comprimento total das raízes, o somatório das raízes com diâmetro maior que 1,5 mm ( $L > 1,5$  mm) se estabeleceu em sua maior parte na profundidade de 0-20 cm (Fig. 5). Foi possível observar tendência de decréscimo do comprimento entre as profundidades, exceto no genótipo RB044311, que apresentou valores menores na camada do solo de 60-80 cm com relação à camada de 80-100 cm (Fig. 5b). Entre os genótipos, o RB867515 apresentou  $L > 1,5$  mm maior nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (Fig. 5e). Na profundidade de 40-60, os genótipos RB044313 e RB044336 apresentaram-se superiores (Fig. 5c e 5d). Não houve diferença significativa entre os genótipos na profundidade de 60-80 cm.  $L > 1,5$  mm, sendo de 8%, 8%, 4%, 11% e 10% do comprimento total das raízes para os genótipos CTC9002, RB044311, RB044313, RB044336 e RB867515, respectivamente.

O genótipo RB044313 apresentou maior densidade e comprimento de raízes nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm e 80-100cm (Fig. 6). Nos cinco genótipos, as profundidades de 60-80 e 80-100 apresentaram maior densidade de raízes (Fig. 6). No genótipo RB867515, foi possível observar tendência crescente dos valores de densidades de raízes com o aumento da profundidade. Não foi possível observar o mesmo padrão de distribuição dos volumes médios entre os genótipos CTC9002, RB044311, RB044313 e RB044336.

A massa seca de raízes apresentou-se decrescente com relação ao aumento da profundidade da camada do solo estudada (Fig. 7). A maior massa seca de raízes nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm foi observada no genótipo RB867515. Na profundidade de 40-60 cm, a maior massa seca de raízes foi do genótipo RB044313 (Fig. 7c). Para as profundidades de 60-80 e 80-100 cm, não foi possível observar diferença significativa entre as médias de massa seca de raízes pelo teste LSD ( $p < 0.05$ ).

A Tabela 4 mostra os resultados da análise de variância (ANOVA) dos parâmetros biométricos da parte aérea dos cinco genótipos de cana-de-açúcar.

**Tabela 4 - Resumo da ANOVA para as avaliações biométricas da parte aérea para os cinco genótipos de cana-de-açúcar avaliados**

FV	GL	Quadrados Médios									
		AP		DC		NG		NP		NF	
Genótipo	3	1,28	**	200,60	**	426,68	**	40,63	**	0,08	ns
Bloco	4	0,00	ns	1,53	ns	2,35	ns	28,46	**	0,17	ns
Resíduo	192	0,01		4,76		2,89		2,81		0,36	
CV (%)	-	3,81		8,85		12,82		5,18		11,08	

**Fonte:** Elaborada pelo autor (2020).

**Legenda:** FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; AP: altura da planta; DC: diâmetro do colmo; NG: número de gemas; NP: número de perfilhos; NF: número de folhas; CV coeficiente de variação

\*\* Teste F significativo ao nível de 1% de probabilidade, \* significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo

Houve efeito significativo entre os genótipos para as variáveis altura da planta, diâmetro do colmo, número de gemas e número de perfilhos. Não houve efeito significativo entre os genótipos para número de folhas (Tabela 4). A Tabela 5 apresenta os valores médios das variáveis biométricas da parte aérea para os cinco genótipos de cana-de-açúcar estudados.

**Tabela 5 - Altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de gemas (NG), número de perfilhos (NP) e número de folhas (NF) para os cinco genótipos de cana-de-açúcar avaliados**

Genótipo	AP (m)		DC (mm)		NG		NP		NF	
CTC9002	2,32	c*	22,73	d	8,28	d	33,75	a	5,38	ns
RB044311	2,28	c	22,83	d	12,98	c	31,38	c	5,33	ns
RB044313	2,59	b	23,85	c	13,00	c	31,50	c	5,38	ns
RB044336	2,70	a	26,00	b	17,08	a	33,00	ab	5,45	ns
RB867515	2,56	b	27,90	a	15,03	b	32,25	bc	5,38	ns

**Fonte:** Elaborada pelo autor (2020).

\*Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD.

O genótipo RB044336 apresentou maior altura e número de gemas, destacando-se ainda no número de perfilhos. O genótipo RB867515 apresentou o maior diâmetro médio do colmo e o genótipo CTC9002, o maior número de perfilhos.

A Tabela 6 mostra os resultados da análise de variância (ANOVA) para as variáveis de qualidade industrial dos cinco genótipos de cana-de-açúcar. Houve efeito

significativo entre os genótipos para teor de fibras, teor de sólidos solúveis, sacarose aparente no suco e açúcares totais redutores. Não houve efeito significativo entre as produtividades.

**Tabela 6 - Resumo da ANOVA para as avaliações qualitativas para os cinco genótipos de cana-de-açúcar avaliados**

FV	GL	Quadrados Médios									
		TF		°Brix		Pol		ATR		Y	
Genótipo	4	0,48	*	2,67	*	2,93	*	274,32	**s	109,35	ns
Bloco	3	0,42	ns	0,33	ns	0,98	ns	72,87	ns	21,20	ns
Resíduo	12	0,06		0,76		0,85		50,56		59,61	
CV (%)	-	2,17		3,71		4,33		13,47		11,95	

**Fonte:** Elaborada pelo autor (2020).

**Legenda:** FV: fator de variação; G.L: grau de liberdade; TF: teor de fibras; °Brix: teor de sólidos solúveis; Pol: sacarose aparente no suco; ATR: açúcares totais redutores; Y é a produtividade

\*\* Teste F significativo ao nível de 1% de probabilidade, \* significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo.

A Tabela7 apresenta os valores médios das variáveis de qualidade industrial para os cinco genótipos de cana-de-açúcar estudados.

**Tabela 7 - Teor de fibras (TF), teor de sólidos solúveis (°Brix), sacarose aparente no suco (Pol), açúcares totais redutores (ATR) e produtividade (Y) para os cinco genótipos de cana-de-açúcar avaliadas**

Genótipo	TF (%)		Brix		Pol (%)		ATR (kg h <sup>-1</sup> )		TY (t ha <sup>-1</sup> )	
CTC9002	10,79	b	24,54	a	22,70	a	192,79	a	67,99	ns
RB044311	11,41	a	22,74	b	20,81	b	175,40	b	58,99	ns
RB044313	11,67	a	22,75	b	20,69	b	173,80	b	63,49	ns
RB044336	11,53	a	23,08	b	20,97	b	173,91	b	60,84	ns
RB867515	11,52	a	24,03	ab	21,85	ab	183,77	ab	71,74	ns

**Fonte:** Elaborada pelo autor (2020).

\* Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD.

Os genótipos CTC9002 e, RB867515 apresentaram o maior teor de sólidos solúveis, sacarose aparente no suco e açúcares totais redutores. O genótipo CTC9002 apresentou menor teor de fibras, sendo as outros genótipos estatisticamente iguais pelo teste LSD ( $p < 0,05$ ). Não houve diferença significativa entre os valores de produtividade para os cinco genótipos.

#### 4.4 Discussão

A cana-de-açúcar é uma cultura profundamente enraizada em razão de seu longo ciclo de crescimento e da longevidade do sistema radicular através de múltiplas rotações em comparação com outras culturas. Os sistemas de raízes atingem profundidades de 1,5 a 6 metros (Smith *et al.*, 2005). Em condições de déficit hídrico, estudos relatam que o sistema radicular da cana-de-açúcar pode aumentar, buscando água em ambientes inadequados do solo (Battie Laclau e Laclau, 2009; Jongrunklang *et al.*, 2013).

Neste estudo, até os 181 DAC, em todas as profundidades estudadas, a umidade do solo foi superior à umidade no ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ) (Fig. 1). Acreditamos que essa disponibilidade de água no solo tenha limitado o crescimento do sistema radicular na faixa de profundidade analisada. Mesmo a  $\theta_{pmp}$  sendo ultrapassada aos 214 DAC, a necessidade de água da cana é maior durante os primeiros períodos do ciclo de crescimento, ou seja, estágios de emergência, estabelecimento e crescimento intensivo, períodos em que geralmente o balanço hídrico é positivo. Durante a estação seca, a necessidade de água diminui, sendo quase insignificante durante a maturação (Scarpate *et al.*, 2016).

A maior parte da biomassa radicular da cana-de-açúcar é encontrada nas proximidades da superfície e depois diminui aproximadamente exponencialmente com a profundidade. Normalmente, aproximadamente 50% da biomassa radicular ocorre nos 20 cm superiores do solo e 85%, nos 60 cm superiores (Smith *et al.*, 2005) Neste estudo, em média, os genótipos apresentaram 50% da massa seca e comprimento total das raízes na profundidade de 0-20 cm, 73% entre 0-40 cm e 86% entre 0-60 cm. Essa alta concentração de raízes nas camadas superiores do solo ocorre em função da redução da ramificação das raízes pela alta resistência do solo nas camadas inferiores. Otto *et al.* (2011) verificaram redução do desenvolvimento do sistema radicular de cana-de-açúcar e que restrições ao crescimento radicular em Latossolos podem ocorrer quando a densidade do solo é maior ou igual  $1,78 \text{ g cm}^{-3}$ . Nas camadas abaixo de 20 cm, a densidade do solo no estudo variou entre  $1,74$  e  $1,77 \text{ g cm}^{-3}$  (Tabela 1), desta forma, confirmando o exposto acima.

O genótipo RB044336 apresentou maior altura e maior número de gemas, destacando-se ainda no número de perfilhos. O perfilhamento é altamente variável entre os diversos genótipos de cana-de-açúcar, dependendo das características genéticas de cada um (Vasanthi *et al.*, 2012). Para Terauchi *et al.* (1999), o elevado perfilhamento é uma característica inadequada para a obtenção de cultivares

melhoradas, pois promoveria um gasto energético para a produção destes perfilhos e da parte aérea, não representando uma correlação positiva com o aumento de produtividade da cultura, produzindo perfilhos com colmos mais finos. Prova disso é que o genótipo RB867515 apresentou o maior diâmetro médio do colmo e menores características biométricas da parte aérea com relação aos outros genótipos.

Os genótipos CTC9002 e RB867515 apresentaram o maior teor de sólidos solúveis, sacarose aparente no suco e açúcares totais redutores. No Brasil, a indústria usa a cana-de-açúcar como matéria-prima para produção do etanol. A sacarose e a glicose são os principais carboidratos de baixas massas moleculares para a síntese orgânica na cana-de-açúcar, e no processo produtivo do etanol, acontece a transformação radical da estrutura química desses carboidratos por meio de processos fermentativos (Ferreira *et al.*, 2009). Pouco se sabe sobre o particionamento preciso de carboidratos no sistema radicular da cana-de-açúcar (Smith *et al.*, 2005). Scarpore *et al.* (2019) concluíram que um aumento da matéria seca abaixo do solo pode não prejudicar o rendimento da cana acima do solo sob condições de estresse hídrico moderado. No entanto, se observarmos a distribuição das densidades do comprimento de raízes (Fig. 6), os genótipos CTC9002, RB044336 e RB867515 apresentaram densidade 26%, 63% e 57% maior na camada de solo nas profundidades de 60-80 cm, respectivamente, e 79%, 39% e 86% na camada de 80-100 cm, com relação à camada de maior concentração de raízes de 0-20 cm (Fig. 3 e 5). Essas camadas de solo (60-80 e 80-100 cm) permaneceram com os maiores níveis de umidade do solo durante o período de estabelecimento e de crescimento intensivo do cultivo (Fig. 2), explicando, assim, os resultados das qualidades tecnológicas (Tabela 7).

O genótipo RB044336 foi o terceiro genótipo com maiores índices de sólidos solúveis e sacarose aparente no suco. Acreditamos que esse genótipo não foi estatisticamente igual aos outros pelo menor percentual de raízes na profundidade de 80-100 cm, com relação à camada de 0-20 cm. Houve também maior densidade de raízes nos genótipos RB044311 e RB044311, cerca de 12% e 18%, respectivamente, na profundidade de 60-80 cm, com relação à camada de 0-20 cm. No entanto, essa menor porcentagem da diferença da densidade indica uma distribuição mais homogênea do sistema radicular dessa variedades e embora o crescimento radicular esteja associado a um aumento da captação de água e nutriente-s (Chopart *et al.*, 2010; Marasca *et al.*, 2015), uma maior taxa de crescimento radicular implica menos

assimilados serem particionados em órgãos acima do solo (caule e folhas). Além disso, há um custo metabólico da manutenção das raízes (Veen, 1981). Desta forma, essa distribuição dos assimilados em razão de uma maior biomassa de raízes em camadas pouco úmidas prejudicou o acúmulo de sacarose e a qualidade tecnológica desses genótipos

#### 4.5 Conclusão

A quantidade de água disponível nas camadas do solo na profundidade de 60-80 e 80-100 cm foi fortemente relacionada com a densidade do comprimento da raiz e o comprimento com diâmetro maior que 1,5 mm, indicando que uma alta captação de água pelas plantas é importante para um alto rendimento. A relação entre densidade do comprimento da raiz e rendimento dos genótipos de cana-de-açúcar indicou que o desenvolvimento do sistema radicular nas camadas mais úmidas do solo contribui para o desenvolvimento qualitativo das plantas.

#### 4.6 Referências

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., de Moraes Gonçalves, J.L., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Antunes Júnior, E.D.J., Alves Júnior, J., Casaroli, D., 2018. Calibração do sensor capacitivo ec-5 em um latossolo em função da densidade do solo. *Reveng* 26, 80–88. <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i1.864>

Bashir, S., 2013. Ratooning potential of different promising sugarcane genotypes at varying harvesting dates 8, 4.

Bashir, S., Fiaz, N., Ghaffar, A., Khalid, F., 2012. Ratooning ability of sugarcane genotypes at different harvesting dates. *International Sugar Journal* 114, 5.

Battie Laclau, P., Laclau, J.-P., 2009. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. *Field Crops Research* 114, 351-360. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.09.004>

Brasil-Conab (Companhia Nacional de Abastecimento), 2019. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. v. 6 – Safra 2019/20. Conab, Brasília.

Chopart, J.L., Azevedo, M.C.B., Le Mézo, L., Marion, D., 2010. Functional Relationship Between Sugarcane Root Biomass and Length for Cropping System Applications. *Sugar Tech* 12, 317–321. <https://doi.org/10.1007/s12355-010-0044-2>  
Consecana (Conselho de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo), Brasil, 2015. Manual de Instruções, 6.ed. Consecana.

Ferreira, V.F., Rocha, D.R. da, Silva, F. de C. da, 2009. Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares. *Química Nova* 32, 623-638. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300007>

Jongrunklang, N., Toomsan, B., Vorasoot, N., Jogloy, S., Boote, K.J., Hoogenboom, G., Patanothai, A., 2013. Drought tolerance mechanisms for yield responses to pre-flowering drought stress of peanut genotypes with different drought tolerant levels. *Field Crops Research* 144, 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.12.017>

Gregory, P., 2006. Plant roots: growth, activity, and interaction with soils. Oxford: Blackwell Publishing, 318p. *In*: Gonçalves, S.L., (2014). Raízes de plantas anuais: tolerância a stresses ambientais, eficiência na absorção de nutrientes e métodos para seleção de genótipo [recurso eletrônico]:/Sergio Luiz Gonçalves, Jonathan Paul Lynch – Londrina: Embrapa Soja, 2014. 67p. (Documentos/Embrapa Soja, ISSN:2176-2937; n.357).

Marasca, I., Lemos, S.V., Silva, R.B., Guerra, S.P.S., Lanças, K.P., Marasca, I., Lemos, S.V., Silva, R.B., Guerra, S.P.S., Lanças, K.P., 2015. Soil Compaction Curve of an Oxisol Under Sugarcane Planted After In-row Deep Tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39, 1490–1497. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140559>

Otto, R., Silva, A.P., Franco, H.C.J., Oliveira, E.C.A., Trivelin, P.C.O., 2011. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. *Soil and Tillage Research* 117, 201–210. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.005>

Robertson, M.J., Inman-Bamber, N.G., Muchow, R.C., Wood, A.W., 1999. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. *Field Crops Research*, 30 Nov. 1999, 64(3):211-227. DOI: 10.1016/s0378-4290(99)00042-8 AGR: IND22045397

Scarpate, F.V., de Jong van Lier, Q., de Camargo, L., Pires, R.C.M., Ruiz-Corrêa, S.T., Bezerra, A.H.F., Gava, G.J.C., Dias, C.T.S., 2019. Tillage effects on soil physical condition and root growth associated with sugarcane water availability. *Soil and Tillage Research* 187, 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.005>

Scarpate, F.V., Hernandez, T.A.D., Ruiz-Corrêa, S.T., Picoli, M.C.A., Scanlon, B.R., Chagas, M.F., Duft, D.G., Cardoso, T. de F., 2016. Sugarcane land use and water resources assessment in the expansion area in Brazil. *Journal of Cleaner Production* 133, 1318–1327. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.074>

Silva-Olaya, A.M., Pellegrino Cerri, C.E., Cerri, C.C., 2017. Comparação de métodos de amostragem para avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar. *Revista de Ciências Agrícolas* 34, 7-16. <https://doi.org/10.22267/rcia.173401.59>

Smith, D.M., Inman-Bamber, N.G., Thorburn, P.J., 2005. Growth and function of the sugarcane root system. *Field Crops Research, Sugarcane physiology: Integrating from cell to crop to advance sugarcane production* 92, 169–183. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.017>

Terauchi, T., Nakagawa, H., Matsuoka, M., Nakano, H., Sugimoto, A., 1999. Comparison of the early growth between sugarcane and sweet sorghum. *Japanese Journal of Crop Science (Japan)* 68, 414–418. <https://doi.org/10.1626/jcs.68.414>

Vasantha, S., Shekinah, D.E., Gupta, C., Rakkiyappan, P., 2012. Tiller Production, Regulation and Senescence in Sugarcane (*Saccharum species hybrid*) Genotypes. *Sugar Tech* 14, 156-160. <https://doi.org/10.1007/s12355-011-0129-6>

Veen, B.W., 1981. Relation between root respiration and root activity. *In*: Brouwer, R., Gašparíková, O., Kolek, J., Loughman, B.C. (Eds.), *Structure and Function of Plant Roots: Proceedings of the 2nd International Symposium, Held in Bratislava, Czechoslovakia, September 1-5, 1980, Developments in Plant and Soil Sciences*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 277–280. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-8314-4\\_53](https://doi.org/10.1007/978-94-009-8314-4_53)

## 5 CONCLUSÃO GERAL

Com base nos resultados apresentados e nas condições em que o trabalho foi desenvolvido, conclui-se que:

- a) a coleta das amostras de solo via monólito – polígono de voronoi, consegue ser extremamente representativa em campo, em razão de as raízes da planta amostrada que crescem fora do polígono serem balanceadas pelas raízes da planta vizinha, que cresce no interior do polígono traçado;
- b) os genótipos RB044336 e C5 RB867515 se destacaram nas três variáveis estudadas em profundidade do sistema radicular mais superficial 0-20 e 20-40. As cultivares CTC9002 e RB044313 obtiveram maiores valores nas três variáveis com relação ao desenvolvimento radicular nas profundidades 60-80 e 80-100;
- c) a avaliação dos sensores de umidade de solo junto à caracterização química e física do solo é primordial para o acompanhamento das condições em campo, de forma a comprovar que todas as cultivares se desenvolveram sob as mesmas condições; e
- d) a cultivar de cana-de-açúcar CTC9002 vem comprovando o sucesso no aumento de área cultivada pelos seus resultados com relação ao alto teor de °Brix, POL e ATR e ao baixo teor de Fibra, quando comparada às demais cultivares em área de sequeiro no Cerrado. A cultivar de cana-de-açúcar RB044336 mostrou ter potencial a ser desenvolvido em razão de seus

valores de número de folhas, número de gemas e altura serem superiores quando comparados às demais cultivares. A cultivar de cana-de-açúcar RB867515 comprovou que, apesar de ser bem estabelecida no mercado, principalmente pelos altos valores com relação às variáveis TCH e °Brix, vem diminuindo sua área cultivada, entre alguns fatores, pelo seu alto teor de fibra, que resulta em baixa eficiência de extração pela indústria.